

STUDI SIMULASI MODEL PENERANGAN ALAMI (DAYLIGHTING) RUANG PADA BANGUNAN FASILITAS PENDIDIKAN TINGGI DENGAN SUPERLITE 2.0

Hanni Elitasari Mahaputri

Abstract: Daylight was the only efficient source of light available for building. Therefore, architecture was dominated by the goal of creating openings large enough to distribute daylight to building interiors. It is important to understand the amount of natural light penetration when outdoor obstruction are displaced in order to propose optimum external shading strategies as design solutions. This paper presents a study of the daylight factor and daylight contour approaches and also investigates the effect of outdoor obstruction displacement on natural-light penetration of a specific room in higher-education building facility. The interior daylight illuminance data were simulated and analyzed using Superlite 2.0. The result shows that several effects of the external obstruction displacement as shading provider, depending on transmitted natural-light penetration, which determine the better consideration option in designing landscape surround building, especially in hot humid climates.

Abstrak: Sinar matahari merupakan sumber penerangan yang efisien bagi bangunan. Tujuan utama dalam arsitektur adalah merancang bukaan pencahayaan yang cukup besar bagi bangunan untuk mendistribusikan cahaya ke bagian dalam bangunan. Sangat penting untuk mengetahui besar penetrasi penerangan alami yang masuk ke dalam ruang bila di luar bangunan diletakkan suatu halangan sebagai salah satu solusi disain dengan mengoptimalkan strategi perancangan pembayangan lingkungan. Makalah ini membahas tentang kajian pendekatan faktor penerangan alami (*daylight factor*) dan koefisien penerangan alami, serta mengamati pengaruh perletakan halangan lingkungan terhadap penetrasi penerangan alami suatu ruang fasilitas pendidikan tinggi. Data iluminasi penerangan interior disimulasikan dan dianalisa menggunakan *software Superlite 2.0*. Hasil penelitian menunjukkan beberapa pengaruh perletakan halangan lingkungan sebagai elemen pembayangan lingkungan berkaitan dengan penetrasi cahaya alami, yang memberikan alternatif terbaik bagi perancangan lansekap di sekeliling bangunan, khususnya di iklim tropis lembab.

Kata-kata kunci: penerangan alami, perletakan halangan lingkungan, *daylight factor*, *daylight contour*

Arsitektur merupakan wadah bagi manusia untuk melakukan aktifitas hidupnya dengan menciptakan kondisi

senyaman mungkin. Disain arsitektur sebagai suatu sistem bangunan, yang terdiri dari komposisi ruang-ruang, merupa-

Hanni Elitasari Mahaputri adalah Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang. Kampus: Jl. Semarang 5 Malang 65145.

kan produk disain dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitarnya. Disain arsitektur di daerah beriklim tropis–lembab mempunyai tujuan utama untuk menurunkan temperatur di dalam ruang untuk semaksimal mungkin dapat memenuhi standar kenyamanan termal.

Berkaitan dengan ini, disain bangunan harus tanggap terhadap kondisi lingkungan sekitarnya, dalam arti semaksimal mungkin mengadaptasi kondisi iklim yang menguntungkan dan meminimalkan gangguan dari fenomena alam yang tidak diinginkan. Pertimbangan disain selayaknya tidak hanya ditekankan pada pemenuhan estetika dan fungsi, namun faktor kenyamanan menjadi pertimbangan yang sangat penting. Dalam kaitannya dengan usaha mencapai kenyamanan inilah peran bangunan dalam memodifikasi iklim sangat ditentukan oleh perancang, yaitu dalam hal penetapan disain dan pemilihan materialnya.

Makalah ini membahas tentang pengaruh disain bangunan terhadap kinerja bangunan (*building performance*) khususnya pencahayaan alami pada bangunan fasilitas pendidikan tinggi. Studi kasus dalam makalah ini adalah ruang perpustakaan Jurusan Arsitektur Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Kajian merupakan perbandingan kondisi eksisting bangunan dan modifikasi yang didasarkan pada analisa hasil simulasi komputer. Metode simulasi atau *modelling* ini dipakai untuk membuktikan kebenaran pengaruh aspek disain terhadap kinerja bangunan (*building performance*).

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah melakukan analisa terhadap kinerja pencahayaan alami bangunan (*daylighting performance*) meliputi: (1) evaluasi dan prediksi kondisi sistem lingkungan dalam bangunan, khususnya sistem penerangan alami, dan (2) analisa tentang kinerja bangunan dalam penerangan alami.

METODE

Metode yang digunakan adalah studi simulasi komputer (*computer modelling*). Metode ini banyak memberikan keuntungan, terutama dalam mengatasi kendala ketergantungan pada kondisi cuaca, waktu studi dan kondisi lingkungan lain yang ditemui pada penggunaan studi model fisik. Bahkan, dalam mewakili skala material, tekstur, dan luasan bidang permukaan, penggunaan simulasi komputer terbukti lebih akurat.

Software yang digunakan adalah *software Archipack 4.0*, *software* simulasi kinerja termal untuk analisa iklim dan *Superlite 2.0*, *software* simulasi kinerja penerangan alami. Studi simulasi dilakukan dengan didasarkan atas data-data primer yang diukur langsung pada objek studi. Modifikasi yang dilakukan ditentukan sebagai pembanding dan merupakan suatu kajian eksperimental untuk memperoleh pilihan yang lebih baik dibandingkan kondisi awal.

Deskripsi Bangunan

Bangunan terletak di Surabaya, dengan posisi geografis pada Garis Lintang (latitude): $-7,2^{\circ}$ LS, Garis Bujur (longitude): -112° BT, dan ketinggian (altitude): 3,00 m di atas permukaan laut. Deskripsi kondisi fisik bangunan dapat dilihat pada Tabel 1. Deskripsi bangunan ini menjadi data untuk menjalankan simulasi dengan menggunakan *Archipack 4.0* dan *Superlite 2.0*.

Modifikasi

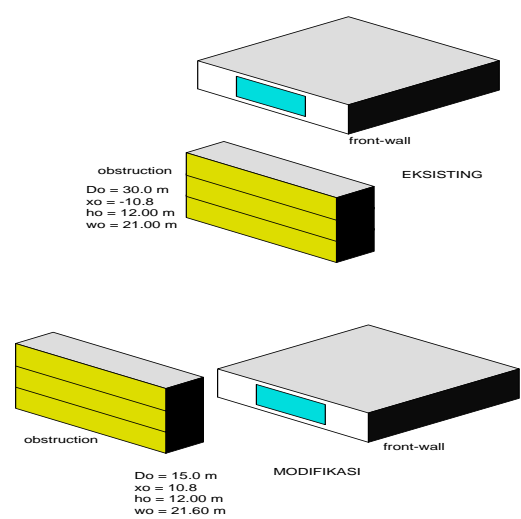
Modifikasi yang dilakukan adalah pada letak halangan di luar bangunan (*outdoor obstruction*), yaitu pada letak terhadap sumbu vertikal dinding terdepan bangunan (*front-wall*) dan jarak dengan *front-wall*. Modifikasi dilakukan dengan pertimbangan posisi peredaran matahari, yaitu untuk mengurangi pencahayaan berlebihan (*excessive illuminance*) pada

Tabel 1. Data Bangunan untuk Simulasi

No.	Elemen	Eksisting	Modifikasi
1.	Kondisi Langit		
	▪ Altitude	3.0 m	
	▪ Latitude	-7,2 ⁰ LS	
	▪ Longitude	-112 ⁰ BT	
	▪ Time zone	-7	
	▪ Sky Models	no direct sun, overcast	
	Ground Reflectance Lingkungan	Asphalt = 0,15	
2.	Data Bangunan		
	Dimensi		
	▪ Lebar (Dinding depan/ <i>Front-wall</i>)	14,40 m	
	▪ Kedalaman ruang	10,9 m	
	▪ Tinggi	3,50 m	
	Elevasi	1,00 m	
	Orientasi	Selatan (180 ⁰)	
	Jendela, jumlah	1	
	dimensi	12,80 x 1,80 m	
	Letak Overhang	Selatan	
	Dimensi	W=1,8 m	
	Reflectance	0.55	
	Internal Surface & Reflectance		
	▪ Dinding	Painted white, old = 0,55	
	▪ Lantai	Concrete = 0,40	
	▪ Plafond	Painted white, old = 0,55	
3.	Halangan Luar Bangunan/Outdoor Obstruction		
	Dimensi Selimut Bangunan/ <i>Façade</i>	H = 12 m	H = 12 m
	Letak dr grs tengah <i>front-wall</i>	W = 21,6 m	W = 21,6 m
	Jarak	<i>Timur</i>	<i>Barat</i>
	Reflectance	<i>30.00 m</i>	<i>15.00 m</i>
		0,75	0,75

jam 12.00. *Outdoor obstruction* berada di sisi sebelah Selatan *front-wall*.

Pada bangunan eksisting, letak halangan (*obstruction displacement*) di sebelah Timur, di sebelah kiri garis tengah ruang. Pada bangunan modifikasi letak halangan (*obstruction displacement*) disebelah Barat, disebelah kanan garis tengah ruang. Diasumsikan material permukaan bidang penghalang (*obstruction's surface material*) adalah dinding dengan spesifikasi “*painted, new*“, dengan nilai *reflectance* 0,75.



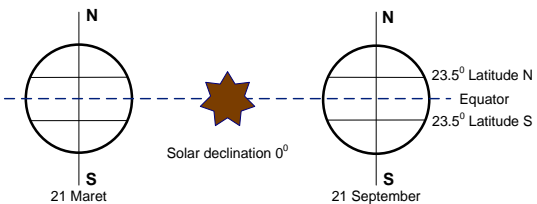
Gambar 1. Posisi *Outdoor Obstruction* (Eksisting dan Modifikasi)

HASIL

Tipologi Kondisi Langit di Daerah Tropis

Tipologi kondisi langit di Indonesia masuk dalam kategori tipologi daerah tropis lembab atau *‘warm-humid climate’* (Koenigsberger, 1973). Pada tipologi iklim ini, kondisi langit berawan sepanjang tahun, yaitu tertutup awan sekitar 60–90%. Pada kondisi langit cerah, iluminasi mencapai sekitar 7000 cd/m². Pada saat langit berawan tebal, iluminasi mencapai 850 cd/m². Radiasi sinar matahari dipantulkan dan disebarkan oleh awan, sehingga sinar yang mencapai permukaan tanah adalah sinar menyebar (*diffuse*), namun bersifat kuat dan dapat menimbulkan silau (*glare*).

Simulasi dilakukan untuk kondisi pada bulan Maret, dimana pada saat ini terjadi *Vernal Equinox* (lama waktu siang dan malam sama, 12 jam) - pada semua garis lintang (*latitude*). Matahari terbit tepat dari Timur dan terbenam tepat di Barat. Karena kondisi langit tanpa sinar matahari langsung, maka *Solar Component* tidak berpengaruh terhadap tingkat iluminasi dalam ruang. Komponen yang berpengaruh adalah : (1) *Sky component (SC)*, dan (2) *Zenith luminance*.

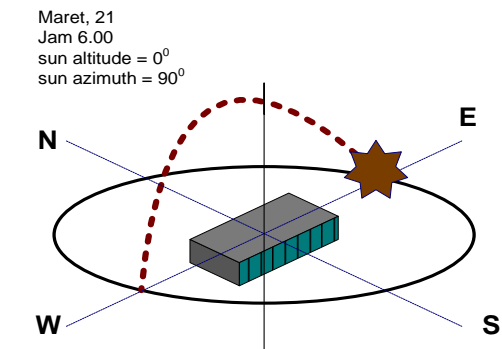


Gambar 2. Posisi Matahari dan Bumi pada Vernal Equinox

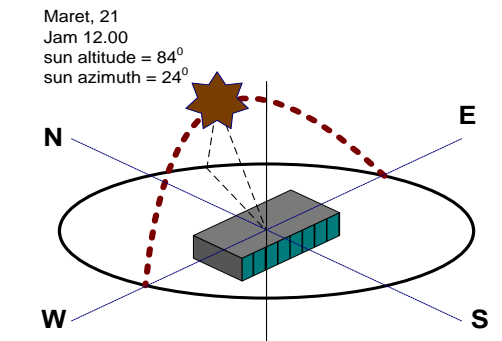
Berdasarkan analisa iklim dari *Archipack-software* simulasi untuk iklim dan kinerja termal bangunan, posisi matahari pada bulan Maret adalah sebagaimana tergambar pada Gambar 3. Jam terbit matahari adalah jam 6.14 dan jam terbenam matahari adalah jam 18.17.

Tabel 2. Posisi Matahari dan Bumi pada Vernal Equinox (Simulasi Archipack)

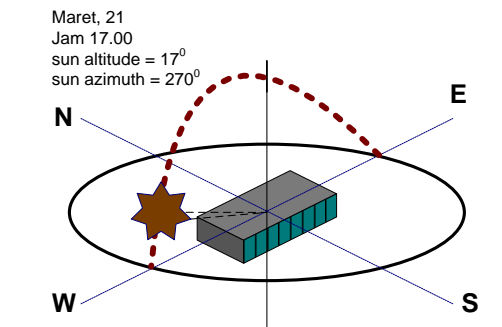
Jam	Altitude	Azimuth
6.00	0°	90°
12.00	84°	24°
17.00	17°	270°



Gambar 3. (a) Posisi Matahari pada Bulan Maret jam 06.00



Gambar 3. (b) Posisi Matahari pada Bulan Maret jam 12.00



Gambar 3. (c) Posisi Matahari pada Bulan Maret jam 17.00

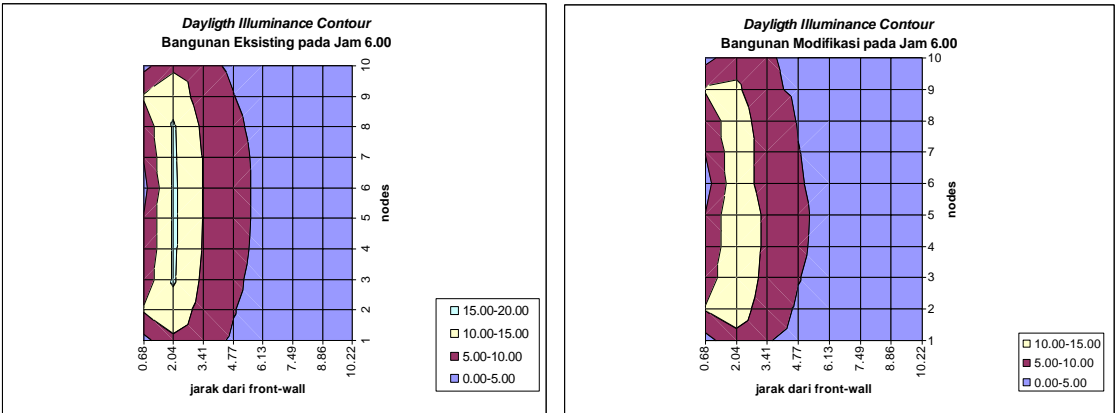
Pada Gambar 3. (b) posisi matahari pada jam 12.00 memungkinkan penetrasi cahaya menyebar/*diffuse* terbesar ke dalam bangunan, bila dibandingkan pada jam-jam lain.

Berdasarkan analisa iklim yang diperoleh dengan simulasi menggunakan *Archipack*, dapat disimpulkan ada permasalahan dan potensi dari iklim daerah studi yang termasuk dalam kategori iklim tropis-lembab. Permasalahan iklim yang teridentifikasi adalah: (1) Sinar berlimpah, dapat menimbulkan *over-brightness/glare*, (2) Kondisi langit selalu berawan (*overcast*) menimbulkan masalah pada kuantitas penetrasi cahaya. Sedangkan potensi iklim yang dapat dimanfaatkan adalah: (1) sinar menyebar (*diffuse*), sehingga kelebihan cahaya/silau (*over-brightness/glare*) dapat dikurangi melalui modifikasi pada reflektansi dan pembayangan (*shading*) dari elemen-elemen di sekitar lingkungan, (2) orientasi bangunan

ruang pada bangunan eksisting dan modifikasi.

Bulan Maret, jam 6.00

Pada jam 6.00, iluminasi akibat penerangan alam pada bangunan eksisting dan modifikasi di titik terjauh dari *front-wall* (jarak 10,22 m) hanya mencapai 5 ft-cd. Keduanya tidak memenuhi tingkat terang (iluminasi) yang direkomendasikan. Gambar 4. (a) menunjukkan bahwa kondisi iluminasi pada bangunan eksisting lebih baik dibandingkan bangunan modifikasi, karena pada bangunan eksisting terdapat area yang memenuhi standar iluminasi yang direkomendasikan, yaitu pada jarak 2,04 m dari dinding depan/*front-wall* (pada aksis sebelah kiri grid). Sebaliknya, hasil simulasi pada kondisi bangunan modifikasi tidak menunjukkan ada area yang memenuhi standar iluminasi yang direkomendasikan.



Gambar 4. (a) Perbandingan *Daylight Illuminance Countour* Bangunan Eksisting dan Modifikasi pada Jam 06.00

ke arah Selatan potensial untuk penerangan alami, karena sinar cukup kuat dan dapat mereduksi silau.

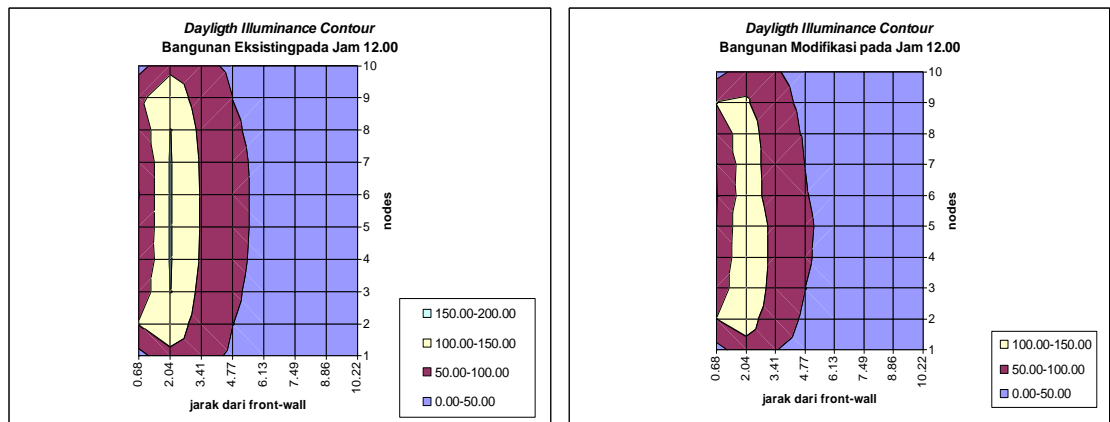
PEMBAHASAN

Analisa *Daylight Contour* Ruang

Dengan melakukan modifikasi pada letak *outdoor obstruction*, maka diperoleh perbandingan distribusi penerangan

Bulan Maret, jam 12.00

Pada jam 12.00, kedua model bangunan mempunyai area yang memenuhi standar iluminasi, namun keduanya juga mengalami kondisi *over-brightness* (di titik-titik pada jarak 0–4,77 m dari *front-wall*). Hal ini dapat ditunjukkan oleh hasil simulasi pada Gambar 4. (b).



Gambar 4. (b) Perbandingan *Daylight Illuminance Countour* Bangunan Eksisting dan Modifikasi pada Jam 12.00

Bangunan modifikasi ternyata mampu mengurangi area dengan kondisi *over-brighthness* terutama pada titik-titik di jarak 2,04 m dari dinding depan/*front-wall* (di sebelah kiri grid). Jadi modifikasi dengan memberikan penghalang lingkungan di depan dinding bangunan akan mampu mengurangi kondisi silau yang berlebihan di dalam ruangan.

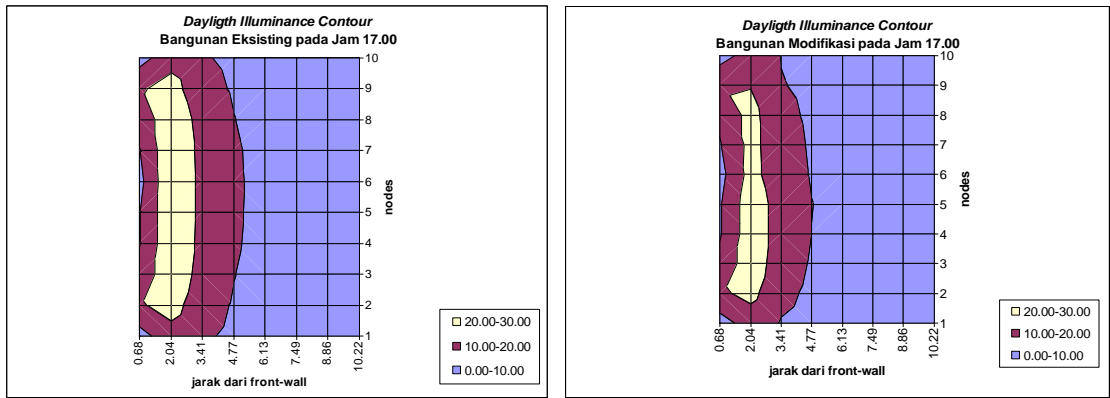
Bulan Maret, jam 17.00

Pada Gambar 4. (c), hasil simulasi untuk jam 17.00, menggambarkan illuminasi akibat penerangan alam pada bangunan eksisting dan modifikasi di titik terjauh dari *front-wall* (jarak 10,22 m) hanya mencapai 10 ft-cd, kurang dari standar niali illuminasi yang direkomendasikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekomendasi Nilai Illuminasi (Ander, 1995)

Visual task	Illuminasi (lux)	Illuminasi (ft-candle)
Rough task, large detail: Libraries, casual reading	200–300–500	20–30–50

Seperti halnya pada jam 6.00, keduanya tidak memenuhi tingkat terang (illuminasi) yang direkomendasikan. Kondisi illuminasi pada bangunan eksisting lebih baik dibandingkan bangunan modifikasi, karena pada bangunan eksisting area yang memenuhi standar illuminasi yang direkomendasikan lebih luas dibandingkan pada bangunan modifikasi.



Gambar 4. (c) Perbandingan *Daylight Illuminance Countour* Bangunan Eksisting dan Modifikasi pada Jam 17.00

Analisa Perbandingan Illuminasi Rerata Ruang di Bangunan Eksisting dan Modifikasi

Mengingat jam aktif penggunaan bangunan (*occupancy periods*) ruang adalah antara jam 8.00–16.00, maka kinerja bangunan modifikasi dengan iluminasi rerata 50,21 ft-cd lebih baik bila dibandingkan dengan iluminasi standar yang direkomendasikan.

Selanjutnya, hasil simulasi terhadap bangunan eksisting dan modifikasi pada tiga waktu kritis dalam ruang (jam 6.00, jam 12.00, dan jam 17.00) dibandingkan dengan standar iluminasi yang direkomendasikan sesuai dengan fungsi ruang, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.

Mengingat jam aktif (*occupancy periods*) ruang adalah antara jam 8.00– 16.00, maka performa bangunan modifikasi dengan iluminasi rerata 50,21 ft-cd adalah yang paling baik bila dibandingkan dengan iluminasi standar yang direkomendasikan.

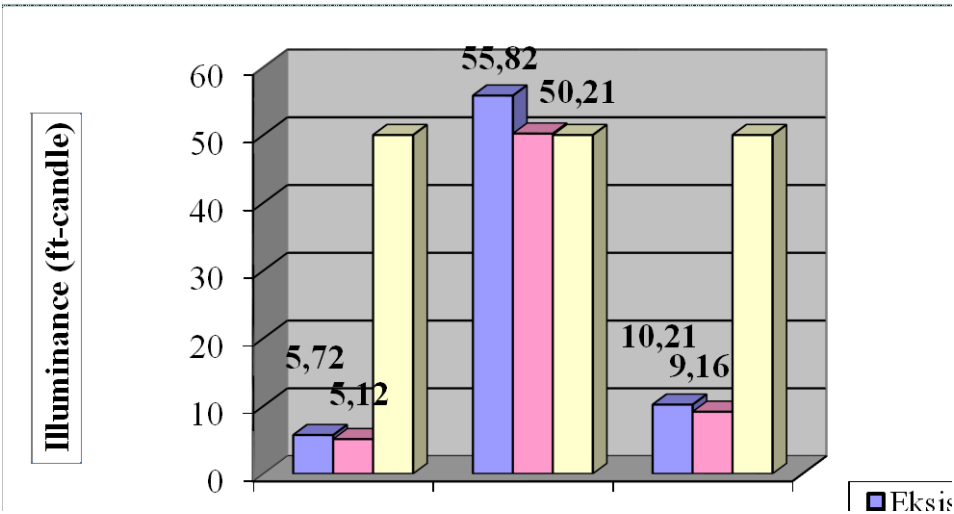
Kondisi iluminasi akibat penerangan alam bangunan eksisting dan modifikasi pada jam 6.00 dan 17.00 (di luar jam aktif) tidak memenuhi standar iluminasi, sehingga memerlukan bantuan penerangan buatan, bila ruangan sekali waktu digunakan sehingga memerlukan bantuan penerangan buatan, bila ruangan sekali waktu digunakan di luar jam aktif bangunan.

Analisa Daylight Factor (DF) Ruang

Kualitas penerangan yang harus dan layak disediakan, ditentukan oleh: (a) penggunaan ruangan, khususnya ditinjau dari segi beratnya penglihatan oleh mata terhadap aktivitas yang harus dilakukan dalam ruangan itu, dan (b) lamanya waktu aktivitas yang memerlukan daya penglihatan yang tinggi dan sifat aktivitasnya yang secara terus menerus atau periodik memerlukan perhatian dan penglihatan yang tepat, sehingga mata dapat beristirahat.

Illuminasi Rata-rata

Jam	Eksisting	Modifikasi	Standar
6.00	5,72	5,12	50
12.00	55,82	50,21	50
17.00	10,21	9,16	50



Gambar 5. Perbandingan Illuminasi Rerata Bangunan Eksisting dan Modifikasi

Menurut Simon Yanas dalam Krishan (2000), disebutkan bahwa sudut datang sinar matahari pada permukaan luar bangunan bervariasi berdasarkan waktu, lokasi/letak, dan kondisi *site*. Sehingga efek pada kondisi dalam bangunan (*indoor*) sangat bergantung pada disain bangunan dan pola pemakaian ruang dalam bangunan tersebut. Penentuan disain, yaitu bentuk geometri, dimensi dan jenis material dari elemen bangunan menjadi pertimbangan utama untuk mengendalikan sinar matahari dan panas.

Metode Analisa *Daylight Factor* (I) ini pada mulanya dikembangkan oleh *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) untuk kondisi langit yang seragam (*uniform sky conditions*). Metode ini menyatakan suatu persentase atau rasio dari iluminasi horisontal ruang dalam (*indoor*) pada titik-titik yang selalu simultan dengan iluminasi horisontal ruang luar (*outdoor*).

Faktor penerangan alami, merupakan perbandingan tingkat penerangan pada suatu titik dari suatu bidang tertentu di dalam suatu ruangan terhadap tingkat penerangan bidang datar di lapangan terbuka yang merupakan ukuran kinerja lubang cahaya ruangan tersebut, yang meliputi 3 komponen, yaitu: (a) Komponen langit (faktor langit/FL), yaitu komponen penerangan langsung dari cahaya langit, (b) Komponen refleksi luar (faktor refleksi luar/FRL), yaitu komponen penerangan yang berasal dari refleksi benda-benda yang berada di sekitar bangunan yang bersangkutan, dan (c) Komponen refleksi dalam (faktor refleksi dalam/FRD), yaitu komponen penerangan yang berasal dari refleksi permukaan-permukaan dalam ruangan, dari cahaya yang masuk ke dalam ruangan akibat refleksi benda-benda di luar ruangan maupun dari cahaya langit

Dalam metode *Daylight Factor* ini, perbandingan '*relative brightness*' antara interior (bidang kerja) dan jendela men-

jadi suatu perhatian kritis pada disain penerangan alami. Bahwa semakin besar nilai *DF*, maka semakin kecil perbedaan ekstrem *brighthness* antara keduanya. Artinya, kondisi iluminasi di dalam ruang tidak jauh berbeda dengan kondisi iluminasi lingkungan di sekitar ruang atau bangunan tersebut.

Tabel 4. *Daylight Factor and Glare Index* yang Direkomendasikan (Szokolay, 1980)

Type of building	Type of room	DF (%)	Glare index
Libraries	Shelves (+ artificial lighting)	1	-
	Reading Tables	1	22

DF minimum sesuai dengan tipikal ruang yang direkomendasikan dihitung dengan perbandingan menurut Stein & Reynold dalam Beleher (<http://www.arce.ku.edu/book/contents.html>) adalah:

$$DF \text{ min} = \frac{(0,1) \times \text{WindowsArea}}{\text{FloorArea}}$$

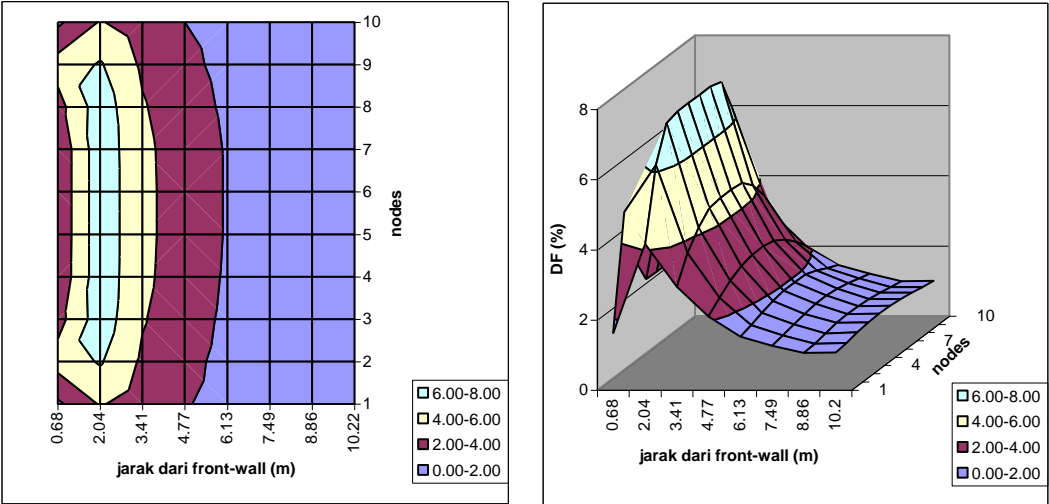
$$DF \text{ min} = \frac{(0,1) \times 23,4}{(14,4 \times 10,9)} = 0,015$$

DF minimum dari hasil simulasi pada kedua model bangunan adalah 0,68. Nilai *DF* hasil simulasi lebih besar dari *DF* tipikal minimum yaitu 0,015 (menurut perhitungan sesuai rumus Stein & Reynold dalam Beleher). Hal ini menunjukkan bahwa penerangan alam pada ruangan tersebut mencukupi atau memenuhi syarat sepanjang tahun.

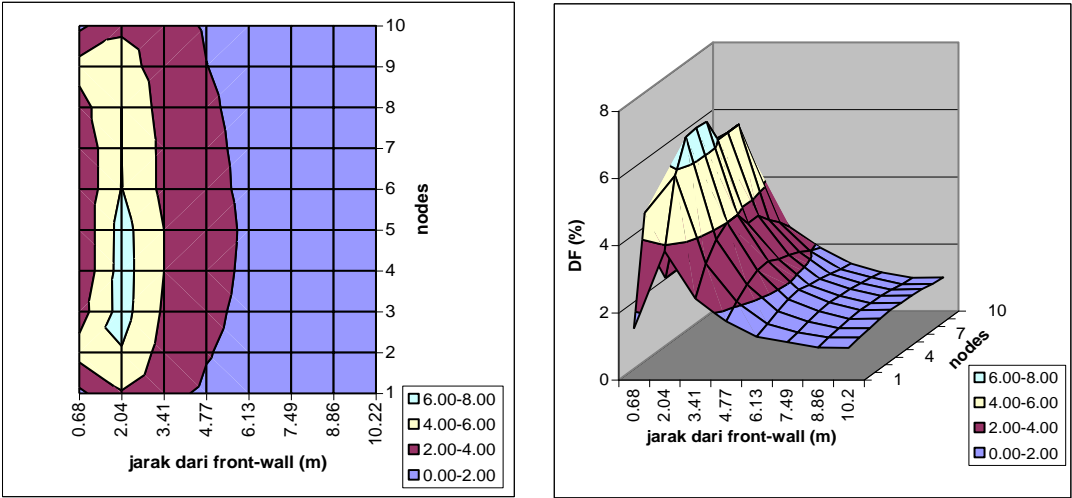
Distribusi *DF* pada kedua model bangunan merata, dalam artian bahwa pada titik terjauh dari *front-wall* (penetrasi cahaya) yaitu pada barisan titik dengan jarak 10,22 m, nilai *DF* mencapai 2%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi yang diperoleh memenuhi kriteria *DF* yang direkomendasikan untuk ruang baca atau perpustakaan sebesar 1%.

Perbandingan ‘*relative brightness*’ antara interior (bidang kerja) dan jendela menjadi suatu perhatian kritis pada disain penerangan alami. Semakin besar nilai *DF*, maka semakin kecil perbedaan ekstrem *brightness* antara keduanya. Pada Gambar 6. (b), hasil simulasi pada bangunan modifikasi menunjukkan area dengan nilai *DF* tinggi (antara 6–8%) menjadi lebih sempit dibandingkan pada bangunan eksisting yang tergambar pada Gambar 6. (a).

Dari hasil perbandingan kinerja penerangan alami berdasarkan nilai *DF*, maka performa penerangan alami pada kedua kondisi bangunan memenuhi standar yang direkomendasikan. Pemberian halangan luar pada bangunan modifikasi sedikit mempersempit area yang mempunyai ekstrem *brightness* dengan ruang luar, namun tidak mengurangi pemenuhan standar illuminasi yang dibutuhkan oleh ruangan sesuai dengan fungsinya.



Gambar 6. (a). Bangunan Eksisting (Maret, Jam 6.00, 12.00 dan 17.00)



Gambar 6. (b) Bangunan Modifikasi (Maret, Jam 6.00, 12.00 dan 17.00)

SIMPULAN DAN SARAN

Secara keseluruhan, baik dari segi tingkat penerangan (*illuminance level*) dan distribusi *daylight factor* (*DF*) dalam ruang, performa bangunan eksisting dan modifikasi memenuhi standar sesuai dengan fungsinya sebagai ruang baca atau perpustakaan.

Modifikasi yang dilakukan pada letak halangan lingkungan (*outdoor obstruction*) dapat memperbaiki kinerja bangunan pada distribusi penerangan dalam ruang terutama pada jam aktif atau *occupancy period*, yaitu pada jam 12.00. Modifikasi dapat mereduksi area yang mengalami kelebihan iluminasi (*excessive illuminance*), yaitu pada jarak 2,04 m dari dinding bukaan pencahayaan atau penetrasi.

Berkaitan dengan kinerja *daylight factor* (*DF*) pada bangunan eksisting dan modifikasi dan persyaratan penerangan dalam ruang, hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja *DF* kedua model bangunan mencapai 2%. Kondisi ini memenuhi kriteria *DF* yang direkomendasikan untuk ruang baca atau perpustakaan sebesar 1%.

Persentase *DF* minimum pada kedua model bangunan lebih besar dibandingkan *DF* minimum yang disyaratkan, sehingga kinerja penerangan alami pada kedua bangunan dapat dikatakan telah mencukupi sepanjang tahun.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perencanaan letak halangan lingkungan (*outdoor obstruction*) yang tepat sangat berpengaruh terhadap kinerja penerangan alami dalam bangunan. Studi simulasi terhadap perletakan halangan lingkungan adalah strategi disain yang sangat bermanfaat dalam perancangan bangunan, khususnya berkaitan dengan perancangan lansekap di sekitar bangunan.

Berdasar simpulan, maka disarankan proses perencanaan dan perancangan dibantu dengan studi simulasi sangat efektif untuk mewujudkan disain yang optimal. Oleh karena itu, sebaiknya dalam perencanaan dan perancangan bangunan, khususnya yang berkaitan dengan performa ruang dan lingkungan bangunan sangat perlu dilakukan studi simulasi/modelling, sehingga dapat diperoleh kinerja lingkungan bangunan yang memenuhi standar fungsional dan kenyamanan.

DAFTAR RUJUKAN

- Anonim. 1994. *SUPERLITE 2.0, Program Description and Tutorial*, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley.
- Ander, Gregg D. 1995. *Daylighting Performance and Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York
- Beleher, M.C. and Helmes. (____). *Lighting—The Electronic Textbook*, (online) (<http://www.arce.ku.edu/book/contents.html>).
- Krishan, A. 2002. *Climate Responsive Architecture: A Design Handbook for Energy Efficient Buildings*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd.
- Stein, B. and Reynolds, J.S. 1992. *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, 8th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Szokolay, S.V. 1980. *Environmental Science Handbook for Architects and Builders*. Lancaster: The Contruction Press.
- Wu, Wei and Ng, Edward. 2003. A Review of The Development of Daylighting in Schools. *Lighting Resources Technology* 35, Vol. 2, hal. 111–125.